CARTA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL UTILIZANDO SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

Abimael CEREDA JUNIOR [1]
Sergio Antonio RÖHM [2]

RESUMO

No Processo de Planejamento Urbano e Regional a dimensão ambiental nem sempre é considerada. Tal fato tem ocasionado diversos problemas, uma vez que devem ser buscados o entendimento do processo global, as interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem. Neste contexto, a paisagem deve ser entendida não através de sua compartimentação, mas sim pelo resultado da compreensão da relação dialética existente entre seus elementos, com a investigação destes em conjunto.

Uma das dificuldades enfrentadas pelos gestores é a falta de instrumentos de análise espacial, como cartografia básica ou de síntese que possam orientar e subsidiar cartográfica e metodologicamente os planejadores. A metodologia sistêmica cartográfica, pautada na ecodinâmica, segundo os preceitos originais de Bertrand e Tricart, e posteriormente discutida por Ross, permite tal análise ao considerar a modelagem e quantificação dos elementos da paisagem para entender, de forma integrada, as variáveis antes somente descritas ou analisadas qualitativamente, propondo assim métodos e teorias para o estudo quantitativo.

O conceito ecodinâmico vai muito além dos inventários e levantamentos de campo, que resultam em mapas que nada transformam a realidade, mas somente ilustram uma situação estática. Tal metodologia procura não se limitar a uma proposta teórica, mas propor orientação metodológica, baseada nos graus de estabilidade-instabilidade morfodinâmicas, sendo que a diminuição da instabilidade morfodinâmica é um dos objetivos da administração e ordenamento do meio ambiente.

Grande parte dos trabalhos que se utilizam de tais preceitos estão atrelados ao Espaço Hartshorniano, no qual o conceito fundamental é a unicidade. De acordo com esta abordagem, a região é considerada como o conjunto de variáveis abstratas deduzidas da realidade da paisagem e da ação humana, sendo sua expressão computacional o polígono como delimitador da região, através de consultas espaciais e operações booleanas.

O presente trabalho propõe discutir a utilização recursos de Sistema de Informações Geográficas no tratamento dos dados cartográficos básicos a esta metodologia (a saber: Categorias Hierárquicas de Classes de Declividade, Classes de Fragilidade de Solo, Graus de Proteção a partir do tipo de cobertura vegetal, Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos) utilizando o Espaço Teorético, mais integrado à Tricart e modificações de Ross, uma vez que este é aplicação do método hipotético-dedutivo, com a proposição de modelos e teorias que enfatizam fenômenos mensuráveis e estudos das distribuições espaciais (eventos, amostras e áreas).

Nesta proposta a expressão computacional integra Estatística Espacial e técnicas de Inteligência Artificial, como Lógica Fuzzy, permitindo obter a Carta de Fragilidade Potencial

[1] Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Mestrando, abimaeljunior@yahoo.com.br
[2] Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, NGeo, Professor Doutor, sarohm@power.ufscar.br.

(Natural) e a Carta de Fragilidade Emergente (Ambiental), instrumentos cartográficos importantes para análise e síntese no gerenciamento da informação territorial.

INTRODUÇÃO

Para o planejamento, exploração econômica ou mesmo entendimento com fins de preservação, diversas áreas do conhecimento se apropriaram do meio ambiente como objeto de estudo, estando tais interesses intrinsicamente ligados, com uma linha tênue de separação.

Entretanto, a apropriação pelos planejadores e gestores destes métodos, metodologias e técnicas fomentados pela Academia nem sempre é feita de forma a considerar as complexas inter-relações entre os componentes da natureza, e quando o é, pauta-se no paradigma do inventário ambiental. Esta visão deve ser superada, uma vez que a caracterização e levantamento de dados imutáveis não condizem com a realidade dinâmica e integrada que se materializa no espaço.

No espaço inventariado sob a ótica estática, obras de engenharia de contenção ou mesmo modificações físico-territoriais muito bem fundamentadas cientificamente são efetuadas, o que acelera os processos dinâmicos da paisagem que ali naturalmente se fazem presente.

Sabe-se, entretanto, que o meio ambiente não é a simples justaposição matemática ou geométrica entre diversos componentes, estanques no espaço/tempo, mas sim um sistema complexo, em contínua renovação dinâmica, resultado da relação dialética existente entre seus elementos, devendo ser a investigação destes feitas em conjunto.

A abordagem integradora de diversas áreas do conhecimento, ou holística, permite o entendimento do processo global, as interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem, sendo a expressão científica de tal visão a Teoria Geral dos Sistemas.

A Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy em 1901, com bases na Segunda Lei da Termodinâmica[3], visava tanto a investigação científica dos sistemas em várias ciências quanto sua aplicação tecnológica e, ainda, a própria filosofia dos sistemas, no sentido de promover a discussão desse novo paradigma científico (RODRIGUES, 2001).

A Geografia absorveu tal teoria principalmente na área de Geografia Física, já que a abordagem positivista afastava qualquer possibilidade de utilização na Geografia Humana, segundo críticos dela.

Sotchava, geógrafo soviético, foi responsável por conceituar os modelos e os sistemas, dentro da ciência da paisagem e, em 1963, diante da noção de ecossistema apresentada por Tansley em 1934, adapta o termo a um conceito geográfico, inserindo nele a categoria espacial e define o conceito de Geossistema. (DIAS, 1998).

Sotchava (1977) afirma que o conceito de Geossistema vem conferir “precisão aos limites entre a Geografia Física e as outras disciplinas geográficas, definindo ao mesmo tempo, a essência do seu campo de investigações e o seu lugar no conjunto da Geografia”.

De maneira muito clara e completa, Monteiro (1978) define o Geossistema como um “sistema singular, complexo, no qual interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do próprio sistema”.

[3] Enunciado de Clausius: “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja a transferência de energia na forma de calor de uma fonte para outra a temperatura maior”

Sob esta ótica, Sotchava (1977) afirma que a preocupação central dos estudos da Geografia Física não é o simples estudo dos componentes da natureza, mas sim, as conexões entre eles, devendo o estudo não ficar restrito à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas extrapolar para o estudo da sua dinâmica, incluindo as conexões entre o homem e a natureza.

A partir da Teoria Geral dos Sistemas e, conseqüentemente do Geossistema, surgiram para a Geografia Física diversas propostas de modelos conceituais, morfológicos e de classificação dos sistemas, incluindo-se os naturais (sistemas abertos), como as propostas de classificação propostas por Sotchava (1978) e por Bertrand (1971) e a abordagem ecodinâmica de Tricart (1977).

Tricart (1977) analisa o ambiente sob o prisma da Teoria dos Sistemas, sendo considerada por ele "o melhor instrumento lógico que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente", partindo do pressuposto de que na natureza as forças de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico.

Entretanto, como salienta Spörl (2001), este equilíbrio é freqüentemente abalado pelas intervenções antrópicas nos componentes ambientais, desencadeando desequilíbrios temporários ou até permanentes. Para tais condições, Tricart (1977) definiu que os ambientes, quando estão em equilíbrio dinâmico são estáveis, e quando, em desequilíbrio são instáveis.

Como afirma Spörl (2001), as alterações realizadas em componentes de um sistema em equilíbrio dinâmico refletem-se de uma forma ou de outra sobre os demais componentes deste sistema, modificando as interações entre energia e matéria e, portanto, o estado de equilíbrio dinâmico do sistema.

Como proposta de sua visão, Tricart (1977) lança as bases da ecodinâmica, sendo esta não só uma orientação teórica, mas uma orientação metodológica baseada nos graus de estabilidade-instabilidade morfodinâmicas, afirmando o autor que diminuir a instabilidade morfodinâmica é um dos objetivos da administração e ordenamento do meio ambiente.

O mapa síntese, produto cartográfico de sua metodologia, apresenta a compartimentação da paisagem natural segundo suas características físico-bióticas, a partir de Unidades Ecodinâmicas, caracterizadas por uma série de atributos, classificados a partir de processos de pedogênese ou morfogênese, sendo estas Unidades Ecodinâmicas Estáveis, Unidades Ecodinâmicas Instáveis e Unidades Ecodinâmicas Intergrades.

Com base nesse conceito e visando aplicações ao Planejamento Ambiental, Ross (1990 e 1994) acrescenta novos critérios estabelecendo a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais, com a definição de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente e Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial.

Thomaz (2000) esclarece que as propostas de Tricart (1977) e Ross (1990 e 1994) encontram-se integradas, pois a segunda é um aprofundamento da anterior; no entanto, ambas propõem uma taxonomia (classificação) dos ambientes fundada no grau de estabilidade/instabilidade da morfodinâmica atual.

A integração destes dados e geração dos produtos cartográficos pode se dar nos Sistema de Informações Geográficas (SIG), que são de fundamental importância, uma vez que, como define Burrough (1986), são um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, processar, e representar dados espaciais, do mundo real.

Para a classificação e geração em Sistemas de Informações Geográficas das Unidades propostas por Ross (1990 e 1994), contribuição à proposta de Tricart (1977), o princípio metodológico adotado na grande maioria dos trabalhos advém de Hartshorne (na obra "Os Princípios e a Natureza da Geografia") e seu conceito de unicidade.

A representação computacional correspondente aos conceitos de unidade de área hartshorniana é o polígono, delimitador das unidades ecodinâmicas, gerados a partir na Álgebra Booleana. Esta é utilizada em análises espaciais qualitativas, gerando mapas temáticos a partir de regras que especificam o conjunto de condições a serem satisfeitas aplicadas em outros mapas temáticos básicos.

O presente trabalho propõe discutir a classificação em unidades ecodinâmicas segundo os preceitos de Ross (1990 e 1994) utilizando não mais Álgebra Booleana, mas sim a Inferência Fuzzy aplicada através da técnica AHP, *Processo Analítico Hierárquico*, proposta por Thomas Saaty, em 1978.

Ruhoff (2004) define o Processo Analítico Hierárquico como sendo uma técnica de escolha baseada na lógica da comparação pareada. Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados entre si, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida.

Sendo assim, o conjunto fuzzy, segundo Burrough e McDonnell (1998), é uma metodologia de caracterização de classes que não possuem, por várias razões, limites rígidos ou estáticos. Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicado para estudos que apresentam ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos, conforme será discutido a seguir.

MÉTODOS e TÉCNICAS

A utilização do Modelo Booleano para a geração das classes ecodinâmicas, como as pautadas na metodologia proposta por Tricart (1977) e modificadas posteriormente por Ross (1990 e 1994), é apresentada como solução na maioria dos trabalhos publicados, alguns com grande fundamentação teórica para tal, outros somente pela facilidade na utilização destes.

A fundamentação teórica para tal implementação computacional está pautada no conceito de unidade-área (*unit-area*) de Hartshorne, geógrafo norte-americano, sendo esta a decomposição do espaço geográfico em unidades de paisagem com caracterítisca próprias e individuais, classificadas a partir de critérios definidos pelo pesquisador, em função do objeto de estudo, escala e caracterítiscas físicas e bióticas. Tal abordagem é chamada de Geografia Idiográfica.

O entendimento das relações entre estas unidades leva ao zoneamento e a definição de unidades do espaço pelos pesquisadores e gestores, a partir da recuperação dos dados e sobreposição deles, tendo uma regra para tal. Em termos práticos, e sem a utilização da computação, equivaleria à sobreposição de mapas base sobre uma mesa de luz, gerando um novo mapa síntese a partir da regra de cruzamento do pesquisador ali debruçado ou metodologia adotada.

Moreira (2001) define o Modelo Booleano como a combinação lógica de conjuntos de mapas binários através de operadores condicionais, sendo cada mapa representado por um *layer* (plano de informação), combinados segundo uma seqüência lógica para dar suporte a uma hipótese ou proposição definida. Diferentes operações são testadas, para determinar se as evidências satisfazem ou não às regras definidas pela hipótese ou teoria, como a Ecodinâmica.

A implementação computacional da abordagem Hartshorniana em um Sistema de Informações Geográficas, se dá através de alguns procedimentos típicos, entre eles, análises do tipo “SE...ENTÃO”, para produzir um mapa de interseções dos diversos conjuntos de interesse, a partir de dados cartográficos básicos para a geração da Carta de Fragilidade Ambiental. Estas interseções delimitam as unidades-área, neste artigo,

Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente e Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial.

Segundo Câmara *et al.* (2001) as operações booleanas são utilizadas em análise espacial qualitativa e quantitativa, sendo o seu grande apelo a simplicidade e fácil aplicação, com a combinação lógica de mapas em um Sistema de Informações Geográficas, diretamente análoga ao tradicional método de sobreposição empregado nas mesas de luz.

Entretanto, Bonham-Carter (1994) salienta que na prática pode não ser apropriado atribuir igual importância para cada um dos critérios combinados, dado que as evidências precisam ser pesadas dependendo da sua relativa importância.

Burrrough & McDonnell (1998) afirmam ainda que na natureza os fenômenos não são representados por limites estáticos ou rígidos, como os gerados por operações Booleanas, onde, segundo Burrough (1986) "os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e desenhá-los como linhas finas muitas vezes não representa adequadamente seu caráter. Assim, talvez não devéssemos nos preocupar tanto com localizações exatas e representações gráficas elegantes. Se for possível aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, os erros topológicos associados como superposição e interseção de mapas poderiam ser eliminados"

A partir de estudos comparando modelamentos booleanos e *fuzzy*, Burrough (1998) considera que o primeiro está muito mais sujeito à propagação de erros, sendo que o segundo tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes, conforme a representação da Figura 1.

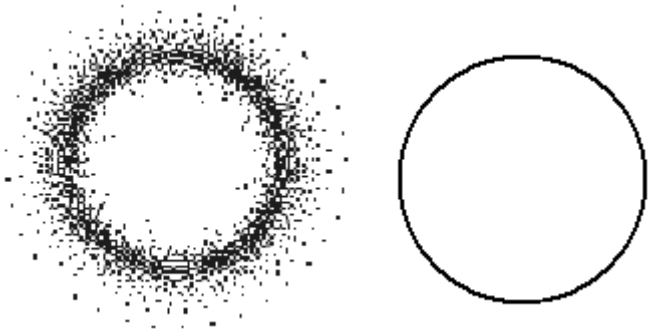

Figura 1 – Diagrama de Venn[4] representando as fronteiras de um conjunto Fuzzy (A) e Booleano (B).
Fonte: Burrough & McDonnell (1998).

Para fins de definição das Unidades para geração das Cartas de Fragilidade Ambiental, ao se entender a complexidade teórica de tal proposta, fica claro que esta se inserem dentro do chamado Espaço Teorético da Geografia Quantitativa, que veio contrapor as teorias da Geografia Idiográfica.

Para a Geografia Quantitativa, modelos e teorias que enfatizam fenômenos mensuráveis e estudos das distribuições espaciais (eventos, amostras e áreas) são construídos para o entendimento dos sistemas geográficos, e como Chorley & Hagget (1975) afirmam, devem ser verificados e validados com dados de campo a partir de técnicas estatísticas

Mais que isto, as Unidades a serem definidas para a geração das Cartas de Fragilidade Ambiental estão inseridas na definição de Burroug & McDonnell (1998), na qual os conjuntos fuzzy são indicados para estudos que apresentam ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos.

[4] O diagrama de Venn é uma representação gráfica de *n* conjuntos, consistindo de *n* curvas simples e fechadas no plano.

A expressão computacional da Geografia Quantitativa se dá através da Inteligência Artificial, em áreas como redes neurais, autômatos celulares e lógica fuzzy (CÂMARA & MONTEIRO, 2001).

Zadeh (1965) introduziu os conjuntos fuzzy para lidar com conceitos inexatos, a partir da constatação de que a qualidade da informação fornecida por modelos matemáticos tradicionais diminui ao ocorrer o aumento da complexidade no sistema.

Ferreira *et al.* (2004) define os os conjuntos (ou classes) fuzzy como representações sem fronteiras (transições) abruptas, isto é, a transição entre a *pertença* (*pertinência)* e a *não pertença* (*não pertinência)* de uma localização num conjunto é gradual. Um conjunto fuzzy é caracterizado por uma *possibilidade* que varia entre 0.0 e 1.0 (ou 0 e 255), indicando um incremento contínuo da *não pertença* até à *pertença completa*.

Complementarmente, Moreira (2001) define os conjuntos fuzzy como uma forma de caracterização de classes, que por várias razões não têm ou não podem definir limites rígidos (contatos) entre classes.

Assim como no Modelo Booleano, o Modelo Fuzzy possui operadores para a síntese da informação, no contexto deste artigo, geográfico. Caso a abordagem fosse booleana, seria feita a utilização de operadores lógicos como OR (união) e AND (interseção).

No Modelo Fuzzy, ela se dá através da combinação segundo análises multi-critérios, definidas através de uma seqüência lógica realizada pelos operadores fuzzy, a saber: *mínimo*, *máximo*, *média*, *ponderado* (com o uso do Processo Analítico Hierárquico) e *gama*.

O operador ponderado se mostra o mais adequado para a classificação de mapas como os de natureza Ecodinâmica. Neste operador, os pesos de cada membro fuzzy de entrada (evidência) podem ser definidos empiricamente de modo heurístico ou por processos estatísticos.

Posto este contexto, ferramentas de Suporte à Tomada de Decisão são importantes para a organização e estabelecimento de modelos racionais de combinação de dados. A racionalidade é o conceito fundamental destas, onde indivíduos e organizações seguem um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível pre-estabelecido de aspirações. (CÂMARA *et al.*, 2001).

A escolha de tais alternativas é dependente do peso atribuído às variáveis, sendo estes então comparados entre si, conforme um critério de importância relativa atribuída às diversas classes temáticas e informações numéricas (RUHOFF, 2004).

Na Carta de Fragilidade Ambiental tais pesos são estabelecidos para Categorias Hierárquicas de Classes de Declividade, Classes de Fragilidade de Solo, Graus de Proteção a partir do tipo de cobertura vegetal e Níveis Hierárquicos dos Comportamentos Pluviométricos, propostas por Ross (1990 e 1994).

Embora exista uma variedade de técnicas para a definição dos pesos, Eastman *et al.* (1995) descrevem o Processo Analítico Hierárquico desenvolvido por Saaty (1992), como sendo o mais promissor na tomada de decisão.

Ruhoff (2004) afirma que no contexto da definição das Unidades propostas por Tricart (1977) e modificadas por Ross (1990 e 1994), a Inferência Fuzzy Ponderada – AHP é a melhor escolha.

Este autor descreve o Processo Analítico Hierárquico como uma ténica que classifica e transforma os dados para um espaço de referência entre [0 e 1], ou seja, entre [0 e 100%], obtendo-se ao invés de um mapa temático com limites rígidos, uma superfície de decisão numérica que representa uma variação contínua, como se dá expressão espacial da Fragilidade Ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância das Cartas de Fragilidade Ambiental é clara e amplamente divulgada em periódicos, comunicações científicas e até mesmo em órgãos governamentais para para fins de planejamento urbano e ambiental, contribuindo para o entendimento do complexo jogo de forças naturais e antrópicas.

Para a operacionalização de tal metodologia, o Modelo Booleano é hoje o mais utilizado, seja pela implementação de tais ferramentas nos softwares, seja pela facilidade de uso e acesso à informações. Entretanto, a utilização de tal Modelo ocasiona a atribuição dos pesos de cada variável sob a ótica e experiência do pesquisador, tendo por resultado cartográfico regiões delimitadas com limites estáticos ou rígidos.

Em contraponto, no Modelo Fuzzy a atribuição de pesos é decorrente de resultados de técnicas de Suporte à Decisão. Além disso, as limitações inerentes aos limites rígidos próprios do Modelo Booleano são contornadas pelo Modelo Fuzzy através de superfícies de decisões numéricas que melhor se adaptam às transições gradativas entre as ocorrências representadas nos mapas temáticos.

A utilização da Lógica Fuzzy para geração de mapas é um tema ainda considerado novo no meio geográfico, devendo os pesquisadores se aproximarem desta, ocorrendo assim um salto qualitativo e quantitativo na ciência geográfica no que tange à interpretação e geração de produtos cartográficos para o entendimento e tomada de decisão sobre o meio físico.

Dessa forma, o que deve ficar claro no presente trabalho e como proposta para futuros é que o cerne não pode ser a discussão ou mesmo defesa de qual Modelo é *melhor* ou *pior*, mas sim pautar-se nos paradigmas em cada um está inserido, cabendo a decisão ser fundamentada em questões muito mais conceituais do que propriamente técnicas.

REFERÊNCIAS

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo: IGEO/USP, v. 13, 1971.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Pergamon, Oxford, 1994.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment**. Oxford: University Press, New York, NY, 1986.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: University Press, 1998.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F.; ALMEIDA, R. Álgebra de Mapas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, CD-ROM, 2001.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, CD-ROM, 2001.

CHORLEY, R. J.;HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos / EDUSP, 1975.

DIAS, J. **As potencialidades paisagísticas de uma região cárstica**: o exemplo de Bonito, MS. Dissertação (Mestrado), UNESP – Universidade Estadual de São Paulo, FCT, Departamento de Geografia, Presidente Prudente, 1998.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P.A.K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.61, n.5, p. 539-547, 1995.

FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.;TENEDÓRIO, J. A.; SOUZA, P. M. Ensaio de Delimitação de Corredores Verdes na Área Metropolitana de Lisboa: Integração de dados fuzzy através da análise multi-critério. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, VIII, Oeiras – Portugal. **Anais...** 2004. CD-ROM

MONTEIRO, C.A. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias do problema da elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE A COMUNIDADE VEGETAL COMO UNIDADE BIOLÓGICA, TURÍSTICA E ECONÔMICA, 4. **Anais...** São Paulo, 1978.

MOREIRA, F. R. da Silva. **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas**. Dissertação (Mestrado), INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, São Paulo, 2001.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos Geográficos e Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH-USP, nº. 14, p.69-77, 2001.

ROSS, J. L. S**. Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

_____. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH-USP, v. 8, n. 1, p.3-74, 1994.

ROSS, J. L. S. (Org.). **Geografia do Brasil.** 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 549p.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo: IGEO/USP, v. 16, 1977.

RUHOFF, A. L. Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Modelagem Ambiental com a Simulação de Cenários Preservacionistas. Dissertação (Mestrado), UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geomática, Rio Grande do Sul, 2004

_____. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**, São Paulo: IGEO/USP, v. 14, 1978.

SPÖRL, C**. Análise da Fragilidade Ambiental Relevo–Solo com Aplicação de três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação (Mestrado), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 2001.

THOMAZ, E. L. **Análise empírica da fragilidade potencial do Rio Iratim –Guarapuava-PR**. Dissertação (Mestrado), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 2000.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353. 1965.